

В.В. ДУЩЕНКО, канд. техн. наук (г. Харьков)

НЕДОСТАТКИ, ПРИЧИНЫ ИХ ВОЗНИКНОВЕНИЯ И ПРОТИВОРЕЧИЯ РАЗВИТИЯ ИЗВЕСТНЫХ ФИЗИЧЕСКИХ ПРИНЦИПОВ ДЕЙСТВИЯ УПРУГИХ ЭЛЕМЕНТОВ СИСТЕМ ПОДРЕССОРИВАНИЯ ВОЕННЫХ ГУСЕНИЧНЫХ И КОЛЕСНЫХ МАШИН

По функціональним, технологічним, економічним та антропологічним критеріям розвитку проведено аналіз фізичних принципів дії пружних елементів систем підресорювання військових гусеничних і колесних машин, в основі яких лежать закон Гука та газові закони. Виявлено головні недоліки цих фізичних принципів дії, причини їх виникнення та протиріччя розвитку. Показано, що на сучасному етапі розвитку, головним фактором в забезпеченні кількісних значень показників якості, що потребують покращення, є необхідність у кожному моменті часу керувати жорсткістю пружних елементів підвіски.

By functional, technological, economic and anthropological criteria of development the analysis of physical principles of action of elastic elements of systems of a cushioning military caterpillar and wheel machines in which basis Guk law and gas laws lay is carried out. The basic lacks of these physical principles of action, the reason of their occurrence and the contradiction of development are revealed. It is shown, that at the present stage of development, a major factor in maintenance of quantitative values of parameters of quality which demand improvement, necessity at each moment of time is to operate rigidity of elastic elements of a suspension bracket.

Постановка проблемы. В соответствии с законом прогрессивной эволюции технических систем, переход от поколения к поколению связан с выявлением и устранением их главных недостатков, при наличии необходимого научно-технического уровня и социально-экономической целесообразности. В связи с этим, в процессе совершенствования, при синтезе новых физических принципов действия (ФПД) и технических решений (ТР) упругих элементов (УЭ) систем поддресоривания (СП) военных гусеничных и колесных машин (ВГКМ) необходимо сформулировать главные недостатки известных, широко используемых ФПД, выявить причины их возникновения и провести анализ противоречий развития. Устранение указанных недостатков обеспечит повышение качества изделий и, в конечном итоге, переход к их новому поколению.

Анализ последних достижений. Известны группы требований к СП ВГКМ, классификация ФПД УЭ и реализующих их ТР, а также известны их основные достоинства и недостатки. В работах [1,2] представлен функционально-физический анализ СП ВГКМ и построены ее конструктивная и потоковая функциональные структуры. На основе системного подхода, в работе [3] проведен анализ критериев развития и показателей качества СП, а также разработана методология системной оценки ее технического уровня. Известна постановка задачи синтеза новых ФПД и ТР узлов СП ВГКМ.

Цель исследований. На основе указанных исследований, сформулировать главные недостатки, используемых в настоящее время, ФПД УЭ и реализующих их ТР. Выявить причины возникновения данных недостатков и провести анализ противоречий развития. Результаты использовать при совершенствовании узлов СП ВГКМ и решении задач синтеза их новых ФПД и ТР.

В настоящее время, наиболее широкое распространение получили следующие ФПД и, реализующие их, ТР УЭ подвески ВГКМ. Это ФПД, основанный на законе Гука (ТР – торсион) и ФПД, в основе которого лежат газовые законы (ТР – пневмогидравлическая рессора (ПГР)).

При выявлении главных недостатков указанных ФПД и ТР будем опираться на критерии развития и показатели качества СП ВГКМ, которые были рассмотрены в работе [3]. Для каждого ФПД и, реализующего его, ТР определим показатели качества, количественные значения которых не соответствуют требованиям к перспективным изделиям и, следовательно, которые требуется улучшить, а также факторы, снижающие эффективность или затрудняющие использование. Анализируя перечень, требующих улучшения, критериев и показателей качества, сформулируем главные недостатки рассматриваемых ФПД.

1. ФПД УЭ, основанный на законе Гука. Краткая характеристика ФПД. При работе подвески происходит деформация УЭ (кручение торсиона), т.е. изменение положение точек тела, при котором изменяются расстояния между ними. Из теории сопротивления материалов известно, что для упругих деформаций справедлив закон Гука, согласно которому деформация ε пропорциональна механическому напряжению σ , т.е. $\sigma = E \varepsilon$, где E – модуль упругости (модуль Юнга). На атомарном уровне упругая деформация характеризуется, прежде всего, практически одинаковым изменением расстояния между всеми атомами кристалла. При нагружении твердого тела в нем возникают внутренние силы взаимодействия между частицами, оказывающие противодействие внешним силам и стремящиеся вернуть частицы тела в положение, которое они занимали до деформации. Возможны следующие основные виды деформаций: растяжение (сжатие), сдвиг (срез), кручение, изгиб. Сложные деформации получаются при сочетании нескольких основных видов деформации. Основные гипотезы, принятые в теории сопротивления материалов: гипотеза об однородности и изотропности материала; гипотеза об абсолютной упругости материала; гипотеза о линейной зависимости между деформациями и нагрузками (закон Гука, который устанавливает прямопропорциональную зависимость между деформациями и нагрузками) [4].

Функциональные критерии - отражают качество реализации основных функции СП ВГКМ. Количественно их можно охарактеризовать показателями качества, распределенными по следующим факторам.

Фактор производительности. Показатели качества: скоростная характеристика СП, средняя скорость движения ВГКМ на местности, скоростной коэффициент качества СП, согласованность характеристик СП с характеристиками силовой установки, трансмиссии и вооружения, энергоемкость СП, статический и динамический ход подвески, приведенная жесткость подвески.

Проведенный анализ показал, что в настоящее время не соответствуют требованиям к перспективным изделиям и требуют улучшения первые четыре показателя качества. Достигнутый уровень энергоемкости УЭ вполне достаточен, а полный ход подвески ограничивается уже не возможностями торсионов, а компоновкой узлов подвески, движителя, высотой ходовой части и высотой ВГКМ в целом.

Исходя из достигнутых значений указанных показателей качества и требуемых их значений в перспективе, а также анализа возникающих при этом проблем, можно сделать вывод, что на современном этапе, основным фактором в обеспечении количественных значений показателей качества, которые требуют улучшения, является необходимость в каждый момент времени управлять жесткостью УЭ подвески с быстродействием порядка $0,1 \dots 0,01 \text{ с}$.

В настоящее время, для рассматриваемого ФПД, управление жесткостью УЭ реализуется следующими путями. С целью обеспечения прогрессивной упругой характеристики осуществляется подключение дополнительных УЭ (упругих подвесок, пружин и т.п.). Также, могут использоваться фасонные пружины с переменными диаметром и шагом навивки, а также переменной толщиной проволоки. Однако, такие ТР не отвечают современным требованиям, не говоря уже о перспективе. Существенным шагом вперед являются исследования и разработки по применению систем управления с принудительным растяжением-сжатием УЭ при помощи гидроцилиндров [5]. Тем не менее, данные системы управления пока не получили практического применения ввиду сложности, повышенных затрат энергии, недостаточной надежности, больших габаритов и веса. Таким образом, возникает противоречие: улучшение показателей качества, отражающих перечисленные функциональные критерии, приводит к ухудшению других критериев и показателей качества, в данном случае, технологических и экономических. Причиной данных противоречий является то, что УЭ, имеющие ФПД на основе закона Гука, вследствие линейной зависимости между деформациями и нагрузками позволяют реализовать только линейные характеристики. Кроме того, в подавляющем большинстве случаев они изготавливаются из металла (намного реже применяются композитные материалы), который обладает изотропными свойствами. Данные свойства являются неизменными, что вынуждает для изменения приведенных упругих характеристик подвески с такими УЭ применять сложные и громоздкие ТР.

Фактор точности. Показатели качества: стабильность характеристик УЭ, эффективность стрельбы ВГКМ с хода и точность управления характеристиками УЭ. Рассматриваемые УЭ обеспечивают необходимую точность упругой характеристики при изготовлении, ее высокую стабильность в процессе эксплуатации и независимость от внешних условий. Показатель эффективности стрельбы ВГКМ с хода оставляет желать лучшего и не удовлетворяет требованиям, предъявляемым к перспективным машинам. Это, в частности, послужило одной из причин наметившегося перехода от торсионных подвесок к более прогрессивным гидропневматическим. Управление жесткостью данных УЭ крайне затруднительно, поэтому говорить о точности управления, при требуемом быстродействии, не приходится.

Фактор надежности. УЭ с рассматриваемым ФПД зарекомендовали себя как надежные, долговечные и ремонтпригодные узлы, имеющие ресурс до капитального ремонта машины.

Фактор специальных требований. С целью улучшения показателей качества функциональных критериев, к СП ВГКМ могут предъявляться специальные требо-

вания, такие как: возможность управления характеристиками УЭ, изменение клиренса на месте и в движении, отключение подвески, горизонтирование корпуса на резко пересеченной местности, повышение углов склонения и возвышения вооружения, а также повышение проходимости. Удовлетворение указанных требований, при использовании УЭ с ФПД на основе закона Гука, в настоящее время затруднительно ввиду сложности, громоздкости, большого веса и низкой надежности известных ТР.

Технологические критерии - отражают затраты труда при изготовлении и подготовке к эксплуатации отдельных узлов и СП в целом. Рассматриваемые УЭ являются технологически отработанными и сравнительно простыми в изготовлении изделиями.

Экономические критерии - отражают затраты на материалы, энергию (при изготовлении и эксплуатации), а также оценивают эффективность изделия по отношению к габаритным размерам и весу. Рассматриваемые УЭ недороги в изготовлении и имеют сравнительно небольшие габариты и массу. Однако, значительная длина торсионов тяжелых ВГКМ может затруднять компоновку внутри машины и обеспечение абсолютно гладкого днища, что усложнит его противоминную защиту. Кроме того, при использовании телескопических демпфирующих устройств и больших динамических ходах подвески существует проблема компоновки узлов в ходовой части. Показатель расхода энергии, применительно к СП тяжелых ВГКМ, более актуален при эксплуатации, чем в изготовлении. При движении на местности ВГКМ с неуправляемой подвеской, значительная часть энергии двигателя тратится на раскачивание подрессоренного корпуса и накопление потенциальной энергии в УЭ, которая затем превращается в тепло в демпфирующих устройствах СП. Это, с одной стороны, приводит к их перегреву и выходу из строя, а с другой – для обеспечения высоких средних скоростей движения требуется применение более мощного двигателя, при этом существенно увеличивается расход топлива.

Антропологические критерии. Эргономические показатели неразрывно связаны с функциональными критериями и их показателями качества. Допустимые значения эргономических показателей для ВГКМ часто выступают ограничением роста показателей качества функциональных критериев, большинство которых связано с ограничениями, накладываемыми на вертикальные ускорения корпуса ВГКМ при различных диапазонах частот возмущающего воздействия. Указанные ограничения вызваны необходимостью обеспечения работоспособности экипажа. Неудовлетворительные условия работы в течение длительных промежутков времени, например, при совершении маршей, и вызванная этим усталость, могут свести к минимуму высокие технические показатели и возможности ВГКМ. Следовательно, удовлетворение эргономических показателей как напрямую, так и косвенно приводит к росту показателей качества функциональных критериев.

II. ФПД УЭ, основанный на газовых законах. Краткая характеристика ФПД. При работе подвески происходит сжатие-расширение газа в одном или нескольких замкнутых объемах, в результате чего в них протекают определенные термодинамические процессы. Различают идеальный газ, реальный газ и пар. Их термодинамическое состояние определяется давлением, объемом и температурой. В зависи-

мости от характера изменения параметров состояния термодинамический процесс может быть изобарическим, изохорическим, изотермическим, адиабатическим и политропным. Все термодинамические процессы сопровождаются обменом или превращением энергии. Газ считается идеальным, если он не конденсируется при охлаждении вплоть до абсолютного нуля. Свойства большинства газов, в том числе и широко используемого в ПГР азота, близки к свойствам идеального газа, если они находятся при температурах достаточно далеких от точки конденсации, что выполняется в ПГР. Поэтому, на практике, при расчете ее упругих характеристик, газ принято считать идеальным, а протекающие в пневмоцилиндрах термодинамические процессы политропными. Уравнение состояния идеального газа записывается в виде $PVT^{-1} = \text{const}$; где P –давление, V –объем, T –температура. Уравнение политропного процесса записывается в виде $P \cdot V^n = \text{const}$; где n –показатель политропы [6].

Функциональные критерии. *Фактор производительности.* Как упоминалось выше, на современном этапе, основным фактором, определяющим качество СП, является возможность в каждый момент времени управлять жесткостью УЭ. В этом плане рассматриваемый ФПД имеет существенные преимущества перед ФПД, основанном на законе Гука, поскольку, во-первых, благодаря политропному процессу обеспечивается прогрессивная нелинейная упругая характеристика УЭ и, во-вторых, приведенную жесткость подвески, с требуемым быстродействием, можно довольно просто, хотя только дискретно, изменять, подключая-отключая необходимое число пневмоцилиндров. Это позволяет ощутимо повысить, рассмотренные выше показатели качества.

Фактор точности. Существенным недостатком УЭ с данным ФПД, в значительной степени сдерживающим их широкое применение, является нестабильность упругих характеристик ПГР. Она вызвана, во-первых, температурной чувствительностью упругой характеристики, обусловленной протекающими термодинамическими процессами и, во-вторых, перетеканием рабочей жидкости в газовую полость и утечкой газа из газовой полости в гидравлическую, которые наблюдаются в процессе эксплуатации. Для снижения температурной чувствительности в настоящее время применяются специальные ТР (противодавление, многоступенчатость), а также всевозможные системы охлаждения. Для устранения перетекания и смешивания газа и рабочей жидкости разрабатывают новые материалы уплотнений и мембран. Все эти меры приводят к повышению сложности конструкции, увеличению ее стоимости и снижению надежности. Кроме того, условия эксплуатации (абразив, влажность, температура и пр.) и неквалифицированное техническое обслуживание также снижают показатель стабильности упругой характеристики таких УЭ. Что касается эффективности стрельбы ВГКМ с хода, то прогрессивная нелинейная упругая характеристика ПГР обеспечивает меньшее раскачивание подрессоренного корпуса при движении по неровностям и это положительно сказывается на точности стрельбы с хода. Приведенной жесткостью рассматриваемой подвески можно управлять, подключая-отключая необходимое число пневмоцилиндров. Данная система управления имеет достаточное быстродей-

вие, однако обеспечивает только дискретное изменение упругой характеристики, соответствующее, как правило, двум – трем режимам движения, что является недостатком. Увеличение же числа ступеней приводит к увеличению габаритов, веса и стоимости. Соответственно снижается и надежность.

Фактор надежности. Считается, что ПГР, по сравнению с торсионом, является менее надежным, а также менее долговечным и ремонтпригодным узлом. Это связано с наличием трущихся пар «поршень-цилиндр» и необходимостью обеспечения надежной изоляции гидравлической и газовой полостей друг от друга. Эксплуатация ВГKM характеризуется повышенной динамической нагруженностью узлов, в сочетании с тяжелыми дорожными и климатическими условиями. В связи с этим ресурс ПГР, как правило, соответствует пробегу машины лишь до среднего ремонта.

Фактор специальных требований. Главным преимуществом УЭ с рассматриваемым ФПД является сравнительная простота удовлетворения перечисленных ранее специальных требований. Это обстоятельство, в основном, и определяет выбор в их пользу, в случае, когда ВГKM должна иметь, как минимум, систему регулирования положения корпуса. Удовлетворить специальные требования при данном ФПД, в сравнении с другими, значительно проще, хотя это и приводит к увеличению габаритов, веса и снижению надежности.

Технологические критерии. ПГР, по сравнению с торсионом, более трудоемка в изготовлении и подготовке к эксплуатации. Это связано с необходимостью изготовления ряда деталей с высокой точностью и чистотой обработки, а также проведения операций заправки газовых и гидравлических полостей ПГР.

Экономические критерии. ПГР дороже в изготовлении, а при наличии традиционной системы охлаждения, такая подвеска, по сравнению с торсионной, имеет большие габариты и вес. Однако, по компоновке в ходовой части, ПГР, которые включают в себя демпфирующее устройство, более компактны и имеет лучшие компоновочные возможности, чем торсионная подвеска с отдельными демпфирующими устройствами. На тяжелых ВГKM, ПГР, в отличие от торсионов, можно размещать снаружи корпуса машины, что облегчает внутреннюю компоновку, уменьшает бронированный объем и улучшает противоминную защиту днища. При эксплуатации прогрессивная характеристика ПГР, даже при отсутствии системы управления, обеспечивает меньшее раскачивание подрессоренного корпуса. Это снижает показатель расхода энергии, тепловую напряженность демпфирующих устройств и ПГР в целом, а также положительно сказывается на динамике машины и расходе топлива.

Антропологические критерии. В связи тем, что рассматриваемые УЭ имеют возможность, хотя и дискретно, но изменять упругую характеристику, их использование позволяет повысить эргономические показатели, а, следовательно, улучшить показатели качества функциональных критериев.

Выводы. На современном этапе развития УЭ СП ВГKM, основным фактором в обеспечении количественных значений показателей качества, которые требуют улучшения, является необходимость в каждый момент времени управлять

жесткостью УЭ с быстродействием порядка $0,1...0,01$ с. Анализ используемых в настоящее время ФПД УЭ показал следующее:

1. ФПД УЭ, основанный на законе Гука. (ТР – торсион).

Главные недостатки. Затруднительна реализация управления упругой характеристикой УЭ. Актуальность вопроса быстродействия системы управления. Проблемы с компоновкой внутри корпуса ВГКМ и в ходовой части. Большие энергопотребление, габариты, вес и стоимость управляемых подвесок.

Причины возникновения данных недостатков - линейная зависимость между деформациями и нагрузками, характерная для данного ФПД, которая позволяет реализовать только линейные характеристики, а также неизменные изотропные свойства металла, из которого изготавливается подавляющее большинство данных УЭ.

Противоречия развития. Для управления упругой характеристикой данных УЭ необходимо применять сложные и громоздкие ТР, которые существенно ухудшают технологические и экономические критерии развития, а также снижают показатели надежности, долговечности и ремонтпригодности.

2. ФПД УЭ, основанный на газовых законах. (ТР – ПГР).

Главные недостатки. Высокая нестабильность упругих характеристик УЭ. Дискретность управления упругой характеристикой, в случае необходимости обеспечения высокого быстродействия системы управления. Большие габариты, вес и стоимость управляемых подвесок. Низкие показатели надежности, долговечности и ремонтпригодности.

Причины возникновения данных недостатков - физическая температурная чувствительность упругой характеристики, обусловленная протекающими термодинамическими процессами, а также перетекание рабочей жидкости в газовую полость и утечка газа из газовой полости в гидравлическую, которые наблюдаются в процессе эксплуатации. Необходимость быстрого изменения работающих в данный момент, объемов газов и давлений в них.

Противоречия развития. Для управления упругой характеристикой данных УЭ необходимо применять сложные и громоздкие ТР, что существенно ухудшает технологические и экономические критерии развития и еще больше снижает показатели надежности, долговечности и ремонтпригодности.

Список литературы: 1. Дущенко В.В. Функционально-физический анализ и построение конструктивной функциональной структуры систем поддрессирования гусеничных и колесных машин // Механика та машинобудування. -2005. -№1. - С.140-145. 2. Дущенко В.В. Построение потоковой функциональной структуры систем поддрессирования гусеничных и колесных машин // Механіка та машинобудування. -2006.-№1. -С.126-135. 3. Дущенко В.В. Критерии развития и показатели качества военных гусеничных и колесных машин; системный подход. Вестник НТУ «ХПИ». Тематический выпуск “Автомобили-и тракторостроение”. -2006. - №26. - С. 87 - 94. 4. Писаренко Г.С., Яковлев А.П., Матвеев В.В. Справочник по сопротивлению материалов. – К.: Наукова думка, 1975. - 704 с. 5. Шарапов В.Д. Активные подвески транспортных средств.-Рига: 1980. - 262 с. 6. Кухлинг Х. Справочник по физике. - М.: Мир, 1983. -520 с.

Поступила в редакцию 29.05.07.